



***GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
PROYECTO FINAL DE GRADO***

***DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN
DE TRACCIÓN DE 25/3,3 kV EN
CORRIENTE CONTINUA***

Autor: Javier Rodríguez Martínez

Director: Ricard Horta Bernús

Junio 2019

Agradecimientos:

En primer lugar, quería agradecer a mis padres Antonio y Conchi por haberme dado la oportunidad de estudiar y ayudado durante la carrera.

Dar las gracias a mi hermana Paula por el apoyo durante estos años de carrera.

Finalmente, agradecer a mi profesor y director del proyecto Ricard Horta por todas las horas dedicadas para realizar el presente Proyecto Final de Grado.

Javier Rodríguez.

RESUMEN

El objetivo del siguiente Trabajo final de grado es el diseño de una subestación eléctrica de tracción (subestaciones eléctricas que están diseñadas para medios de transporte de ferrocarril) de 3,3 kV de corriente continua.

Se realizará el cálculo y dimensionamiento de la aparamenta y puesta a tierra que componen una subestación eléctrica de tracción de 3,3 kV de corriente continua, la cual estará alimentada a partir de dos líneas eléctricas de 25 kV provenientes de una red de distribución eléctrica de 25 kV.

Dichas subestaciones de tracción de 3,3 kV de corriente continua están diseñadas para alimentar una red ferroviaria para el transporte de pasajeros y mercancías, un ejemplo del cual podría ser una red ferroviaria de cercanías de vía única o vía doble. En el proyecto se propone que el tramo de catenaria sea diseñado para vía única, el cual influirá en el diseño de la subestación de tracción de 3,3 kVcc proyectada en el presente proyecto

ÍNDICE GENERAL

- I. MEMORIA
- II. CÁLCULOS
- III. PLANOS
- IV. PLIEGO DE CONDICIONES
- V. PRESUPUESTO
- VI. CONCLUSIÓN

I. MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ¿QUÉ ES UNA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN?	1
2. ANTECEDENTES	1
2.1. GESTIÓN DEL FERROCARRIL EN ESPAÑA	1
2.1.1. INFRAESTRUCTURA	2
2.2. SISTEMAS DE ELECTRIFICACIÓN DE ADIF	4
2.2.1. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN EN CORRIENTE CONTINUA	5
2.2.1.1. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN 1x3.300 Vcc	6
2.2.1.2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN 2 x 3.300 Vcc	6
2.2.2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN EN CORRIENTE ALTERNA	6
2.4. DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN DE 3,3 kVcc	7
3. OBJETO DEL PROYECTO	9
3.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	9
3.2. UBICACIÓN	9
4. DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN 25/3,3 kV EN CORRIENTE CONTINUA	9
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	9
4.1.1. EMBARRADO DE LA SUBESTACIÓN	10
4.1.2. ELEMENTOS ASOCIADOS A LAS LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN ASOCIADOS A LAS LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN DE LA SUBESTACIÓN	11
4.1.3. ELEMENTOS ASOCIADOS AL EMBARRADO SUPERIOR	12
4.1.4. ELEMENTOS ASOCIADOS AL GRUPO DE TRACCIÓN	13
4.1.4.1. Transformador de potencia	14
4.1.4.2. Rectificador de potencia	14
4.1.4.3. Filtro de armónicos	15
4.1.4.4. Bobina de alisamiento	15
4.1.5. ELEMENTOS ASOCIADOS A LOS SERVICIOS AUXILIARES	15
4.1.5.1 Transformador de servicios auxiliares	15
4.1.6. CELDAS DE CORRIENTE CONTINUA DE 3,6 kV	16
4.1.7. ELEMENTOS UBICADOS EN LA SALIDA DE FEEDERS – PÓRTICO DE FEEDERS	17
4.1.7.1 Autoválvula	18
4.1.7.2. Pórtico de Feeders	18
4.1.8. ARMARIO DE NEGATIVOS	19
4.1.9. CIRCUITO DE RETORNO	20
4.1.10. SUBESTACIÓN MÓVIL	20
4.1.11. PUESTA A TIERRA	21

4.1.12. INSTALACIONES ASOCIADAS A LOS SERVICIOS AUXILIARE	22
4.1.12.1. Alumbrado interior.....	22
4.1.12.2. Alumbrado exterior.....	22
4.1.12.3. Alumbrado de emergencia y seguridad	23

II. CÁLCULOS

1. SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN 25/3,3 kV EN CORRIENTE CONTINUA

1.1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DE ENTRADA A LA SUBESTACIÓN.....	1
1.1.1. CÁLCULOS ELÉCTRICOS.....	1
1.1.2. CÁLCULOS MECÁNICOS.....	5
1.1.2.1. Cálculo mecánico para el vano de 30 m.....	7
1.1.2.2. Cálculo mecánico para el vano de 35 m.....	13
1.1.3. CÁLCULO DEL AISLAMIENTO.....	17
1.1.3.1. Cálculo eléctrico de la cadena de aisladores	17
1.1.3.2. Cálculo mecánico de la cadena de aisladores	20
1.2. INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO.....	26
1.2.1. CÁLCULO DE LAS IMPEDANCIAS DEL CIRCUITO.....	26
1.2.2. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LAS IMPEDANCIAS EN SISTEMA DIRECTO	34
1.2.3. CÁLCULO DE LAS INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN “L1”.....	35
1.2.3.1. Intensidad de cortocircuito trifásica	36
1.2.3.1.1. Intensidad de choque o intensidad máxima asimétrica.....	36
1.2.3.1.2. Intensidad de corte	37
1.2.3.1.3. Potencia de cortocircuito	38
1.2.3.1.4. Capacidad de rotura	38
1.2.3.2. Intensidad de cortocircuito homopolar o monofásica	38
1.2.3.2.1. Intensidad de choque o intensidad máxima asimétrica.....	38
1.2.4. CÁLCULO DE LAS INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO EN LA SALIDA DEL TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES.....	39
1.2.4.1. Intensidad de cortocircuito trifásica	41
1.2.4.1.1. Intensidad de choque	41
1.2.4.1.2. Intensidad de corte	41
1.2.4.1.3. Potencia de cortocircuito	42
1.2.4.1.4. Capacidad de rotura	42
1.2.4.2. Intensidad de cortocircuito monofásica o homopolar	42
1.2.4.2.1. Intensidad de choque o asimétrica.....	43
1.2.4.2.2. Intensidad de corte	43

1.2.4.2.3. Potencia de cortocircuito	44
1.2.4.2.4. Capacidad de rotura	44
1.2.5. CÁLCULO DE LAS INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO EN LA SALIDA DE DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA	44
1.2.5.1. Intensidad de cortocircuito trifásica	46
1.2.5.1.2. Intensidad de corte	46
1.2.5.1.3. Potencia de cortocircuito	47
1.2.5.1.4. Capacidad de rotura	47
1.2.6. RESUMEN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS ASOCIADOS A LOS CORTOCIRCUITOS ESTUDIADOS.....	48
1.3. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROTECCIONES EN LA PARTE DE CORRIENTE ALTERNA.....	49
1.3.1. DIMENSIONAMIENTO DE LAS AUTOVÁLVULAS	49
1.3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SECCIONADORES	51
1.3.2.1. Seccionador – Entrada de la línea eléctrica de alimentación.....	51
1.3.2.2. Seccionador – Línea de entrada de los grupos rectificadores, servicios auxiliares y subestación móvil.	53
1.3.2.3. Seccionador – Transformador de potencia	54
1.3.2.4. Seccionador – Transformador de potencia de los servicios auxiliares	55
1.3.3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS INTERRUPTORES.....	56
1.3.3.1. Interruptor – Entrada de la línea eléctrica de alimentación	56
1.3.3.2. Interruptor del transformador de potencia	58
1.3.4. DIMENSIONAMIENTO DEL FUSIBLE ASOCIADO AL TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES.	60
1.4. DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DE PROTECCIÓN Y MEDIDA.....	65
1.4.1. CÁLCULO DE LOS TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD.....	65
1.4.1.1. Transformadores de intensidad de protección y medida de las líneas de alimentación de la subestación.....	65
1.4.1.2. Transformador de intensidad del grupo de tracción	72
1.4.2. CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR DE TENSIÓN	79
1.5. DIMENSIONAMIENTO DEL EMBARRADO GENERAL DE 25 kV DEL PARQUE DE INTEMPERIE	83
1.5.1. EMBARRADO SUPERIOR.....	83
1.5.1.1. Esfuerzos electrodinámicos.....	84
1.5.1.2. Esfuerzos térmicos	88
1.5.2. EMBARRADO INFERIOR.....	92
1.5.2.1. Esfuerzos electrodinámicos.....	92
1.5.2.2. Esfuerzos térmicos	95
1.6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DE LA SALIDA A 1.300 V DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA.....	98

1.6.1. ESFUERZOS ELECTRODINÁMICOS	100
1.6.2. ESFUERZOS TÉRMICOS.....	104
1.7. DIMENSIONAMIENTO DEL GRUPO RECTIFICADOR.....	107
1.7.1. CÁLCULO DE LAS INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO EN CORRIENTE CONTINUA	110
1.7.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA BOBINA DE ALISAMIENTO.....	119
1.7.3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS FILTROS DE ARMÓNICOS	120
1.8. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DE SALIDA DE LOS GRUPOS RECTIFICADORES.	123
1.8.1. DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR POSITIVO DE LA SALIDA DEL GRUPO RECTIFICADOR	123
1.8.2. DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR NEGATIVO DE LA SALIDA DEL GRUPO RECTIFICADOR.....	126
1.9. DIMENSIONAMIENTO DE LAS CELDAS DE CORRIENTE CONTINUA 3,6 kV	130
1.9.1. CELDA DE SECCIONADOR DE GRUPO 1 Y SECCIONADOR DE CONEXIÓN A SUBESTACIÓN MÓVIL	131
1.9.2. CELDA DE SECCIONADOR DE GRUPO 2 Y SECCIONADOR DE CONEXIÓN DE BARRA ÓMNIBUS.....	131
1.9.3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SECCIONADORES DE GRUPO.....	132
1.9.4. CELDAS DE SALIDA DE FEEDERS.....	133
1.9.4.1. Dimensionamiento de los disyuntores extrarrápidos de las celdas de feeder.....	133
1.10. DIMENSIONAMIENTO DE LAS BARRAS ÓMNIBUS Y DE LAS BARRAS DE BY-PASS.....	136
1.10.1. DIMENSIONAMIENTO DE LAS BARRAS ÓMNIBUS	136
1.10.1.1. Intensidades máximas admisibles de las barras ómnibus	137
1.10.1.2. Esfuerzos electrodinámicos	139
1.10.1.3. Esfuerzos térmicos	141
1.10.2. DIMENSIONAMIENTO DE LAS BARRA DE BY-PASS	144
1.11. DIMENSIONAMIENTO DE LAS AUTOVÁLVULAS A LA SALIDA DE LAS CELDAS DE FEEDER.....	142
1.12. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DE SALIDA DE LAS CELDAS DE FEEDER.....	147
1.12.1. CÁLCULOS ELÉCTRICOS	148
1.13. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SECCIONADORES DE FEEDER Y DE BY-PASS...	152
1.14. CÁLCULO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN	153
1.14.1. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	153
1.14.2. DATOS DE PARTIDA	154
1.14.2.1. Características del terreno.....	154
1.14.2.2. Configuración del sistema de puesta a tierra	154

1.14.3. CÁLCULO DE LAS RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DEL CONJUNTO MALLA-PICAS-CONEXIONES A EQUIPO	155
1.14.4. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES	156
1.14.5. CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO APLICADAS	157
1.14.5.1. Cálculo de las tensiones de paso y contacto aplicadas en el interior de la malla.....	157
1.14.5.2. Cálculo de las tensiones de paso y contacto aplicadas en el exterior de la malla.....	159
1.14.6. CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO ADMISIBLES.....	160
1.14.7. CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO APLICADAS DE ACCESO	163
1.14.8. CONEXIÓN DEL NEUTRO DEL TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES CON LA MALLA GENERAL DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	165
1.14.9.DIMENSIONAMIENTO CONDUCTORES DE LA RED DE TIERRA DE SERVICIO	166
1.14.9.1. Dimensionamiento de los conductores asociados a los transformadores de potencia.....	166
1.14.9.1.1. Cálculo de la densidad de corriente	167
1.14.9.2. Dimensionamiento de los conductores asociados a las autoválvulas de continua	167
1.14.9.2.1. Dimensionamiento de la pletina de cobre por intensidad de defecto a tierra	168
1.14.10. DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE MASAS	169

III. PLANOS

MAPA GEOLÓGICO

01.01 SITUACIÓN GENERAL SOBRE ORTOFOTO

01.02 SITUACIÓN GENERAL

01.03 ESQUEMA UNIFILAR

01.04 ELEMENTOS SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN 3,3 kVcc

01.05 ELEMENTOS SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN 3,3 kVcc PARTE CORRIENTE ALTERNA

01.06 ELEMENTOS SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN 3,3 kVcc PARTE CORRIENTE ALTERNA SECCIÓN D-D

01.07 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

IV. PLIEGO DE CONDICIONES

1.CONDICIONES TÉCNICAS GENERALES	1
1.1. OBJETO DEL PLIEGO	1
1.2. CONDICIÓN TÉCNICA GENERAL	1
1.2.1. NORMATIVA DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO	1
1.2.1.1. Especificaciones técnicas y normas de Adif	4
1.2.2. NORMATIVA DE IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	5
1.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRAS	5
1.3.1. DATOS GEOTÉCNICOS Y AMBIENTALES	5
1.3.2. OBRA CÍVIL	6
1.3.2.1. Descripción general de la subestación.	6
1.3.2.2. Movimientos de tierras.....	7
1.3.2.3. Cimentaciones.....	7
1.3.2.4. Edificio de continua	7
1.3.2.5. Alumbrado exterior	8
1.3.2.6. Alumbrado interior	8
1.3.2.7. Alumbrado de emergencia.....	8
1.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS	9
2.CONDICIONES ADMINISTRATIVAS.....	10
2.1. DISPOSICIÓN GENERAL QUE REGIRÁ DURANTE LA VIGENCIA DEL CONTRATO.....	10
2.1.1.Recepción de la instalación y plazo de garantía	10
3.CONDICIONES FACULTATIVAS	11
3.1. REPRESENTANTES DE LA ADMINISTRACIÓN Y EL CONTRATISTA.....	11
4.CONDICIONES ECONÓMICAS	12

V. PRESUPUESTO

1.INTRODUCCIÓN	1
3. APARELLAJE DEL PARQUE DE CORRIENTE ALTERNA	2
3.1. Autoválvulas	2
3.2. Seccionadores.....	2
3.3. Interruptores	2
3.4. Fusible.....	2
3.5. Transformadores de intensidad	3

3.6. Transformadores de tensión	3
3.7. Transformadores de potencia	3
4. APARELLAJE DE CORRIENTE CONTINUA.....	4
4.1. Rectificador.....	4
4.2. Bobina de alisamiento	4
4.4. Seccionadores.....	4
4.5. Disyuntor extrarrápido	5
4.6. Autoválvulas de corriente continua	5
5. CONDUCTORES.....	5
6. ARMARIO DE NEGATIVOS	7
7. AISLADORES, HERRAJES Y ACCESORIOS	7
8. ALUMBRADO	8
8.1. Alumbrado interior	8
8.2. Alumbrado exterior	8
9. CUADROS DE SERVICIOS AUXILIARES.....	9
10. GESTIÓN DE RESIDUOS Y MEDIOAMBIENTE	9
11. TRAMITACIÓN ADMINISTRATIVA.....	9
12. PRESUPUESTO TOTAL DE LA INVERSIÓN.....	10

VI. CONCLUSIONES

1. CONCLUSIONES

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente (Fuente: Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09).	2
Tabla 2: Condiciones de hipótesis de tracción máxima admisible (Fuente: Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09).....	6
Tabla 3: Líneas de fuga recomendadas (Fuente: Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09).	18
Tabla 4: Características técnicas de los modelos de aisladores (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A).	19
Tabla 5: Aisladores U70, U100, U120 (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A).	19
Tabla 6: Características técnicas de la horquilla de bola HB. (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A).	20
Tabla 7: Características técnicas de la horquilla de bola HB. (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A).	21
Tabla 8: Características técnicas de la grapa de amarre GA (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A)	22
Tabla 9: Características técnicas de la grapa de suspensión GS. (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A)	24
Tabla 10: Distancias cruceta tipo Bóveda (Fuente: Iberdrola)	28
Tabla 11: Factor α para conductores de aluminio y núcleo de acero. (Fuente: Horta Bernús, Ricard; Candela García, Ignacio, 2004. Teoría, càlcul i disseny de línies elèctriques)	28
Tabla 12 : Parámetros eléctricos de las redes eléctricas y de las líneas eléctricas (Fuente: Propia).....	48
Tabla 13: Parámetros eléctricos de los transformadores (Fuente: Propia)	48
Tabla 14: Parámetros eléctricos de los puntos de cortocircuito (Fuente: Propia)	48
Tabla 15: Capacidad de energía de los descargadores (Fuente: ABB – Descargadores de sobretensiones de alto voltaje).....	50
Tabla 16: Características eléctricas de seccionadores de apertura latera DIALT (Fuente: ELECTROTAZ).	52
Tabla 17: Características eléctricas – Interruptores automáticos modelos 3AP1, 3AP2/3 y 3AP4/5 (Fuente: SIEMENS).	58
Tabla 18: Calibre del fusible modelo Fusars FC (Fuente: Schneider Electric)	62
Tabla 19: Parámetros técnicos de los transformadores de intensidad del modelo CX (Fuente: ARTECHE)	78

Tabla 20: Parámetros técnicos de los transformadores de tensión del modelo UT (Fuente: ARTECHE)	82
Tabla 21: Distancias de aislamiento eléctrico para evitar descargas (Fuente: ITC-LAT 07)	85
Tabla 22: Factores α , β para diferentes tipos de apoyo (Fuente: UNE EN60865-1:2013)	87
Tabla 23: Valores de las propiedades de los conductores (Fuente: ABB'S USERS MANUAL)	94
Tabla 24: Momentos de inercia para fases de más de un conductor (Fuente: ABB'S USERS MANUAL)	101
Tabla 25: Distancia efectiva entre fases parciales para secciones rectangulares (Fuente: ABB'S USERS MANUAL)	102
Tabla 26: Momentos de inercia y resistencia de barras planas (Fuente: ABB'S USERS MANUAL)	103
Tabla 27: Valores de las resistencias equivalentes del circuito de corriente continua (Fuente: Propia)	117
Tabla 28: Densidad máxima admisible de corriente de cortocircuito, en A/mm ² , para conductores de Cobre (Fuente: ITC-LAT 06)	125
Tabla 29: Factores de corrección para resistividad térmica del terreno diferente a 1 K·m/W (Fuente: ITC-BT 07)	128
Tabla 30: Densidad de cortocircuito máxima, en A/mm ² , en conductores de cobre (Fuente: ITC-BT 07)	129
Tabla 31: Características eléctricas del seccionador unipolar de apertura en vacío SVF (Fuente: ELECTROTAZ, SA)	133
Tabla 32: Características eléctricas del disyuntor extrarrápido (Fuente: Secherón, SA)	135
Tabla 33: Márgenes de disparo del disyuntor extrarrápido (Fuente: Secherón, SA) ..	136
Tabla 34: Características técnicas de las autoválvulas a la salida del edificio de continua (Fuente: MD EQUIPOS ELECTRÓNICOS, SA)	146
Tabla 35: Factor de corrección – Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas continuas, con separación entre cables igual a un diámetro d (Fuente: ITC-LAT 06)	150
Tabla 36: Densidad máxima admisible de corriente de cortocircuito, en A/mm ² , para conductores de Aluminio (Fuente: ITC-LAT 06)	151
Tabla 37: Características eléctricas del seccionador unipolar de apertura en vacío SVF (Fuente: ELECTROTAZ, SA)	153
Tabla 38 Tensiones de paso y de contacto aplicadas (Fuente: Propia)	164
Tabla 39: Tensiones de paso y de contacto máximas admisibles (Fuente: Propia)...	164
Tabla 40: Tensiones de paso y de contacto máximas admisibles (Fuente: Propia)...	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I- 1 : Estructura del sector ferroviario en España. (Fuente: Propia)	2
Figura I- 2: Ancho de Vía (Fuente: www.adif.es)	4
Figura I- 3: Mapa de la Red Ferroviaria de Interés General de Adif. (Fuente: www.adif.es)	5
Figura I- 4: Sistema de electrificación de la red ferroviaria (Fuente: www.adif.es)	6
Figura I- 5: Sistema de electrificación 1x3.300 Vcc (Fuente: www.adif.es)	7
Figura I- 6: Circuito equivalente del sistema de conexión de la red ferroviaria (Fuente: Adif)	9
Figura I- 7: Esquema conceptual de las subestaciones ferroviarias de CC reversibles (Fuente: www.ingeteam.com)	10
Figura I- 8: Pórtico de Feeders (Fuente:ADIF)	20
Figura I- 9: Armario de negativos (Fuente: ADIF)	21
Figura I- 10: Esquema del sistema eléctrico del circuito de retorno (Fuente: Propia)..	22
Figura II- 1: Aislador de vidrio (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A)	18
Figura II- 2: Horquilla de bola HB (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A)	20
Figura II- 3:Fig. 12: Rótula R (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A)	21
Figura II- 4 : Grapa de amarre GA (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A)	22
Figura II- 5: Grapa de suspensión GS (Fuente: INDUSTRIAS DE APARELLAJE ELÉCTRICO, S.A)	24
Figura II- 6: Cruceta tipo Bóveda para postes (Fuente: Iberdrola)	28
Figura II- 7: Esquema de impedancias de secuencia directa (Fuente: Propia)	34
Figura II- 8: Puntos de la subestación de aplicación de los cortocircuitos (Fuente: Propia)	34
Figura II- 9: Circuito de impedancias de secuencia directa con una línea de alimentación y un transformador de potencia (Fuente: Propia)	35
Figura II- 10: Circuito de impedancias de secuencia directa: Falla 1 (Fuente: Propia)	35
Figura II- 11: Circuito equivalente de impedancias de secuencia directa: Falla 1 (Fuente: Propia)	35
Figura II- 12: Circuito de impedancias de secuencia homopolar: Falla 1 (Fuente: Propia)	38
Figura II- 13: Circuito de impedancias de secuencia directa: Falla 2 (Fuente: Propia)	39
Figura II- 14: Circuito equivalente de impedancias de secuencia directa: Falla 2 (Fuente: Propia)	40
Figura II- 15: Circuito de impedancias de secuencia directa: Falla 3 (Fuente: Propia)	44

Figura II- 16: Circuito equivalente de impedancias de secuencia directa: Falla 3 (Fuente: Propia).....	45
Figura II- 17: Vista frontal del seccionador de apertura lateral DIALT (Fuente: ELECTROTAZ).....	53
Figura II- 18: Vista lateral del seccionador de apertura lateral DIALT (Fuente: ELECTROTAZ).....	53
Figura II- 19: Fusible Fusars FC (Fuente: Schneider Electric).....	62
Figura II- 20: Zonas de funcionamiento del fusible (Fuente: Propia)	63
Figura II- 21: Indicador digital – Modelo Serie DC-B (Fuente: CIRCUTOR, SA).....	68
Figura II- 22: Transformador de intensidad - Modelo CX (Fuente: ARTECHE).....	78
Figura II- 23: Dimensiones del transformador de intensidad - Modelo CX (Fuente: ARTECHE)	79
Figura II- 24: Esquema grupo rectificador de 6.000 kW (Fuente: Adif)	108
Figura II- 25: Ondas de tensión de un rectificador de 12 pulsos (Fuente: Electrónica Industrial: Técnicas de Potencia, J.A. Gualda Gil [1991]).....	109
Figura II- 26: Esquema de las subestaciones asociadas al sistema en corriente continua (Fuente: Propia).....	111
Figura II- 27: Circuito equivalente del sistema en corriente continua (Fuente: Propia)	112
Figura II- 28: Circuito equivalente simplificado del sistema en corriente continua - 2 (Fuente: Propia).....	118
Figura II- 29: Circuito equivalente simplificado del sistema en corriente continua - 3 (Fuente: Propia).....	118
Figura II- 30: Medidas de las pletinas de cobre (Fuente: ABB Switchgear Manual 10th Ed 2004).....	140
Figura II- 31: Autoválvula Modelo DC-400 (Fuente: MD EQUIPOS ELECTRÓNICOS, SA).	146
Figura II- 32: Montaje de las autoválvulas a la salida del edificio de continua (Fuente: MD EQUIPOS ELECTRÓNICOS, SA).....	147
Figura II- 33: Fig. 40: Terrenos aplicados en el sistema de puesta a tierra de la subestación	163

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Factor χ (Fuente: ABB Switchgear Manual 10th Ed 2004)	36
Gráfica 2: Factor μ (Fuente: ABB Switchgear Manual 10th Ed 2004).....	37
Gráfica 3: Curvas características tiempo-intensidad Fusars FC (Fuente: Schneider Electric, S.A).....	64
Gráfica 4: factor m. (Fuente: UNE EN 60865-1).....	89
Gráfica 5: factor n (Fuente: UNE EN 60865-1).....	89

Gráfica 6: Densidad de corriente eficaz nominal admisible de breve durada (Fuente: UNE EN 60865-1)..... 91

Gráfica 8: Relación entre el tiempo de apertura t_i y la tasca inicial del aumento de corriente di/dt para el disparo instantáneo directo de sobreintensidad (Fuente: Secherón, SA). 136

Se debe recordar que la razón de que haya tablas, figuras y gráficas que en el presente proyecto no estén tituladas, es debido a que serán aplicadas más de una vez.

BIBLIOGRAFIA

Libros y reglamentos

- [1] Electrónica Industrial: Técnicas de Potencia, J.A. Gualda Gil [1991]
- [2] Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas, G.E. Harper 2ª Ed. [2005]
- [3] ABB Switchgear manual, 10th revised edition [2004]
- [4] Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09 R.D. 223/2008, de 15 de febrero.
- [5] Reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT 01 a BT 51. R.D 842/2002, de 2 de agosto,
- [6] Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. R.D. 337/2014, de 9 de mayo
- [7] Normas UNE aplicadas en aplicaciones ferroviarias
- [8] Normas CEI aplicadas en aplicaciones ferroviarias

Especificaciones Técnicas de ADIF

- [9] E.T.03.359.100.9 Disyuntores extrarrápidos para subestaciones de tracción de 3,3 kV en CC.
 - [10] E.T.03.359.101.7 Transformadores de potencia sumergidos en aceite para subestaciones de tracción de 3,3 kV en CC.
 - [11] E.T.03.359.104.1 Rectificadores de potencia para subestaciones de tracción de 3,3 kV en CC
 - [12] E.T.03.359.115.7 Bobinas de aislamiento para subestaciones de tracción de CC
 - [13] E.T.03.359.116.5 Transformadores de servicios auxiliares para subestaciones de tracción de 3,3 kV en CC
 - [14] E.T.03.359.123.1 Cabinas de CC para subestaciones de tracción
-

-
- [15] E.T.03.364.150.7 Seccionadores unipolares para instalación en exterior de 3 kV C.C. y de 25 kV C.A. para catenaria
- [16] E.T. 03.364.156.4 Pararrayos de Óxido Metálico para electrificación en CC.
- [17] E.T. 03.364.158.0 Conductores de cobre desnudos para electrificación.
- [18] E.T. 03.364.159.8 Conductores de cobre débilmente aleado para electrificación.
- [19] E.T.03.364.170.5 Cables de energía unipolares para alta tensión con aislamiento exterior
- [20] E.T. 03.366.206.5 Electrodo (picas) de puesta a tierra constituidas por varillas cilíndricas bimetálicas.

Webgrafia

- [21] ADIF

http://www.adif.es/es_ES/index.shtml

- [22] Productos Electrotaz, S.A.

<https://www.electrotaz.com/index.php/>

- [23] Productos Bronmetal, S.A

<https://www.bronmetal.com/>

- [24] MT 2.21.60 Iberdrola

http://www.f2i2.net/documentos/lsi/nce/iberdrola/proy/2019/MT_2.21.60_Ed5_nov18.pdf

- [25] Productos Ormazabal – Transformadores

<https://www.ormazabal.com/es/tu-negocio/infraestructura/aeropuertos-puertos-autopistas-y/transformadores-de-distribuci%C3%B3n>

- [26] Pararrayos ABB

https://www.unioviedo.es/pcasielles/uploads/cat%C3%A1logos/Pararrayos/ABB_pararrayos_guia_comprador.pdf

- [27] Interruptores de Alta Tensión – Siemens

<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public/1533215970.a8c255c897707c1213440434d096b0f08e4d25e0.high-voltage-circuit-breakers-portfolio-es.pdf>

- [28] Fusibles Fusars FC – Schneider Electric

<https://www.se.com/es/es/product-range-presentation/957-fusibles-de-3%2C6-a-36-kv/>

- [29] Productos Circutor, S.A.

<http://circutor.es/es/productos>

- [30] Productos Artech

<https://www.artech.com/es/productos/transformadores-de-tensi>

[31] Productos Solidal Conductores Eléctricos, S.A.

<http://www.solidal.pt/var/imagens/gerais/File/catalogo/Catalogo%20Espanhol%20Out2010.pdf>

[32] Productos Secheron, S.A.

<https://www.secheron.com/>

[33] Productos MD EQUIPOS ELECTRÓNICOS, SA

<https://www.mdelectro.es/>

[34] Productos CABLES RCT, S.A.

<https://www.cablesrct.com/>

***DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN DE
TRACCIÓN DE 25/3,3 kV EN
CORRIENTE CONTINUA***

I. MEMORIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ¿QUÉ ES UNA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN?	1
2. ANTECEDENTES.....	1
2.1. GESTIÓN DEL FERROCARRIL EN ESPAÑA	1
2.1.1. INFRAESTRUCTURA.....	3
2.2. SISTEMAS DE ELECTRIFICACIÓN DE ADIF	4
2.2.1. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN EN CORRIENTE CONTINUA	5
2.2.1.1. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN 1x3.300 Vcc	6
2.2.1.2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN 2 x 3.300 Vcc	6
2.2.2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN EN CORRIENTE ALTERNA.....	6
2.4.DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN DE 3,3 kVcc.....	7
3. OBJETO DEL PROYECTO.....	9
3.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	9
3.2. UBICACIÓN.....	9
4. DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN 25/3,3 kV EN CORRIENTE CONTINUA.....	10
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	10
4.1.1. EMBARRADO DE LA SUBESTACIÓN	11
4.1.2. ELEMENTOS ASOCIADOS A LAS LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN ASOCIADOS A LAS LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN DE LA SUBESTACIÓN.....	12
4.1.3. ELEMENTOS ASOCIADOS AL EMBARRADO SUPERIOR	13
4.1.4. ELEMENTOS ASOCIADOS AL GRUPO DE TRACCIÓN	13
4.1.4.1. Transformador de potencia	14
4.1.4.2. Rectificador de potencia	15
4.1.4.3. Filtro de armónicos.....	15
4.1.4.4. Bobina de alisamiento	16
4.1.5. ELEMENTOS ASOCIADOS A LOS SERVICIOS AUXILIARES.....	16
4.1.5.1 Transformador de servicios auxiliares	16
4.1.6. CELDAS DE CORRIENTE CONTINUA DE 3,6 kV.....	17
4.1.7. ELEMENTOS UBICADOS EN LA SALIDA DE FEEDERS – PÓRTICO DE FEEDERS	18
4.1.7.1 Autoválvula	18
4.1.7.2. Pórtico de Feeders	19

4.1.8. ARMARIO DE NEGATIVOS.....	19
4.1.9. CIRCUITO DE RETORNO	20
4.1.10. SUBESTACIÓN MÓVIL	21
4.1.11. PUESTA A TIERRA	21
4.1.12. INSTALACIONES ASOCIADAS A LOS SERVICIOS AUXILIARE	22
4.1.12.1. Alumbrado interior	22
4.1.12.2. Alumbrado exterior	23
4.1.12.3. Alumbrado de emergencia y seguridad	23

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ¿QUÉ ES UNA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN?

Instalación que tiene como objetivo abastecer de energía eléctrica a la línea aérea de contacto o catenaria de una línea ferroviaria. Las subestaciones de tracción son aquellas subestaciones que transforman la energía eléctrica de la red eléctrica y transforma la tensión, el voltaje y la frecuencia para alimentar eléctricamente el ferrocarril.

Las subestaciones de tracción se clasificarán en los siguientes tipos:

- Subestaciones de tracción en corriente continua
- Subestaciones de tracción en corriente alterna

Dicha clasificación vendrá determinada por el tipo de líneas ferroviarias alimentarán eléctricamente, las cuales se indicarán en el *apartado 2.2.SISTEMAS DE ELECTRIFICACIÓN*, del presente capítulo.

2. ANTECEDENTES

2.1. GESTIÓN DEL FERROCARRIL EN ESPAÑA

El ministerio de fomento es el responsable de administrar el sector ferroviario en el estado. A partir de La Ley 39/2003 de 17 diciembre.

En el siguiente diagrama queda definida la estructura del sector ferroviario en España:

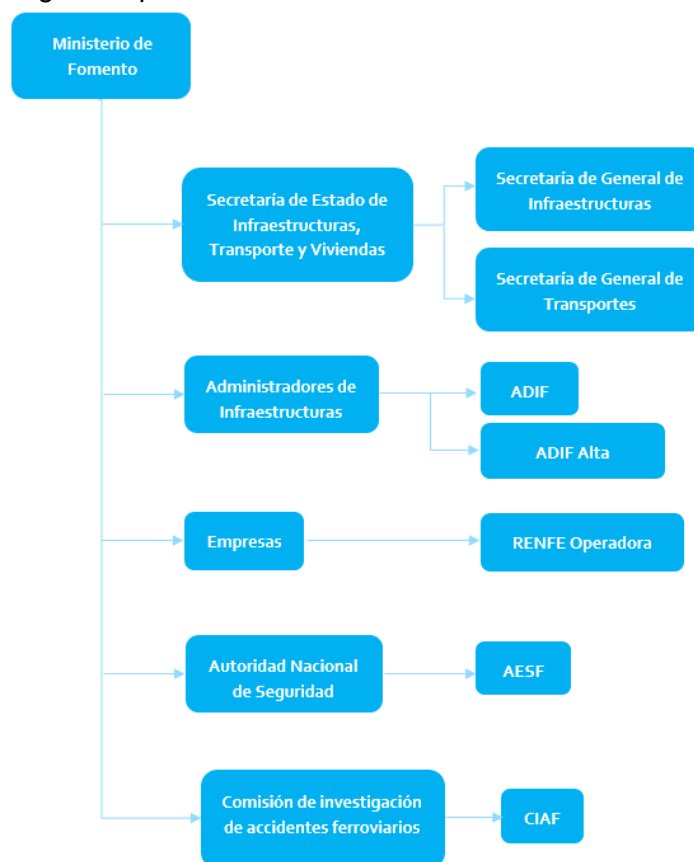


Figura I- 1 : Estructura del sector ferroviario en España. (Fuente: Propia)

Las principales competencias del ministerio de fomento son:

- La regulación del sistema ferroviario relacionado con la seguridad, oferta de servicios e infraestructuras.
- La supervisión de la actividad de las empresas públicas ferroviarias ADIF y RENFE.

Seguidamente, se realizará una breve definición de las competencias de cada una de las entidades que forman el sector ferroviario:

- Secretaría General de Infraestructuras
La principal competencia será la de dirigir y coordinar las inversiones relacionadas con las infraestructuras de transporte tanto por carretera como en ferrocarril.
- Secretaría General de Transportes
La principal competencia será la de dirigir y coordinar el transporte terrestre, marítimo y aéreo.
- ADIF
ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviaria) es una empresa pública española, que como se refleja en el diagrama anterior, depende del Ministerio de Fomento. Su competencia es la construcción y gestión de las líneas de ferrocarril en España.
- RENFE OPERADORA
Empresa pública dependiente del Ministerio de Fomento, cuyo objetivo es la prestación de servicios de transporte de viajeros. Se divide en las diferentes empresas públicas: Renfe Mercancías, Renfe Viajeros, Renfe Fabricación y Mantenimiento, Renfe Alquiler de Material Ferroviario.
- AESF
AESF (Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria) es una agencia estatal, definida como la entidad con mayor autoridad, la cual se encarga de la supervisión de seguridad ferroviaria. También es la entidad encargada de dar las licencias a las empresas ferroviarias.
- CIAF
CIAF (Comisión de Investigación de Accidentes Ferroviarios), se encarga de la investigación de los accidentes ferroviarios que se consideran graves, los cuales se hayan producido en la Red Ferroviaria de Interés General.

2.1.1. INFRAESTRUCTURA

Como se ha indicado en el apartado anterior, la empresa encargada de la infraestructura de la red ferroviaria es ADIF.

ADIF nace el día 1 de enero de 2005 debido a la *Ley 39/2003 Reglamento del Sector Ferroviario* donde se incluye la división de RENFE (Red Nacional de Ferrocarriles Españoles) en dos grandes empresas:

- Renfe Operadora
- ADIF

A partir de la creación de ADIF, las vías que gestionaba RENFE fueron transferidas a ADIF, excepto las vías ferroviarias que ya lo fueron a Cataluña, Euskadi, Comunidad Valenciana y Baleares; las cuales son gestionadas por FGC, EuskoTren, FGV, SFM respectivamente.

En el año 2012, las vías ferroviarias que pertenecían a FEVE (Ferrocarriles Españoles de Vía Estrecha) que tenía en el norte de España (La Coruña, Lugo, Asturias, Cantabria, Vizcaya, Burgos, Palencia, León) y Murcia (línea Cartagena-Los Nietos), las cuales fueron traspasadas a ADIF, añadiendo 1.192 km de vía estrecha.

A partir del *Real Decreto-ley 15/2013, de 13 de diciembre* ADIF, se divide en las siguientes dos empresas públicas dependientes del Ministerio de Fomento:

- ADIF Alta Velocidad.
- ADIF.

Los diferentes tipos de líneas ferroviarias que se encuentran en España y que son gestionadas por ADIF y ADIF Alta Velocidad, junto con su respectivo ancho de vía:

- Líneas de alta velocidad (Ancho de vía estándar - 1.435 mm)
- Líneas convencionales (Ancho de vía ibérico - 1.668 mm).
- Tercer carril (1.435 mm - 1.668 mm)
- Red de vía estrecha (Ancho Métrico o FEVE - 1.000 mm)



Figura I- 2: Ancho de Vía (Fuente: www.adif.es)

ADIF Alta Velocidad gestiona 3.152 km, de los cuales 2.514 km son ancho de vía estándar (1.435 mm), 567 km de ancho ibérico y 71 km de ancho mixto (combinación entre el ancho de vía estándar y ancho ibérico). ADIF tiene un total de 12.149 km de vías; de los que 57 km son de Ancho Estándar, 84 km de Alta Velocidad de Ancho Ibérico, 119 km de Ancho Mixto, 10.682 km a la Red Convencional y 1.207 km a la Red de Vía Estrecha de Ancho Métrico.

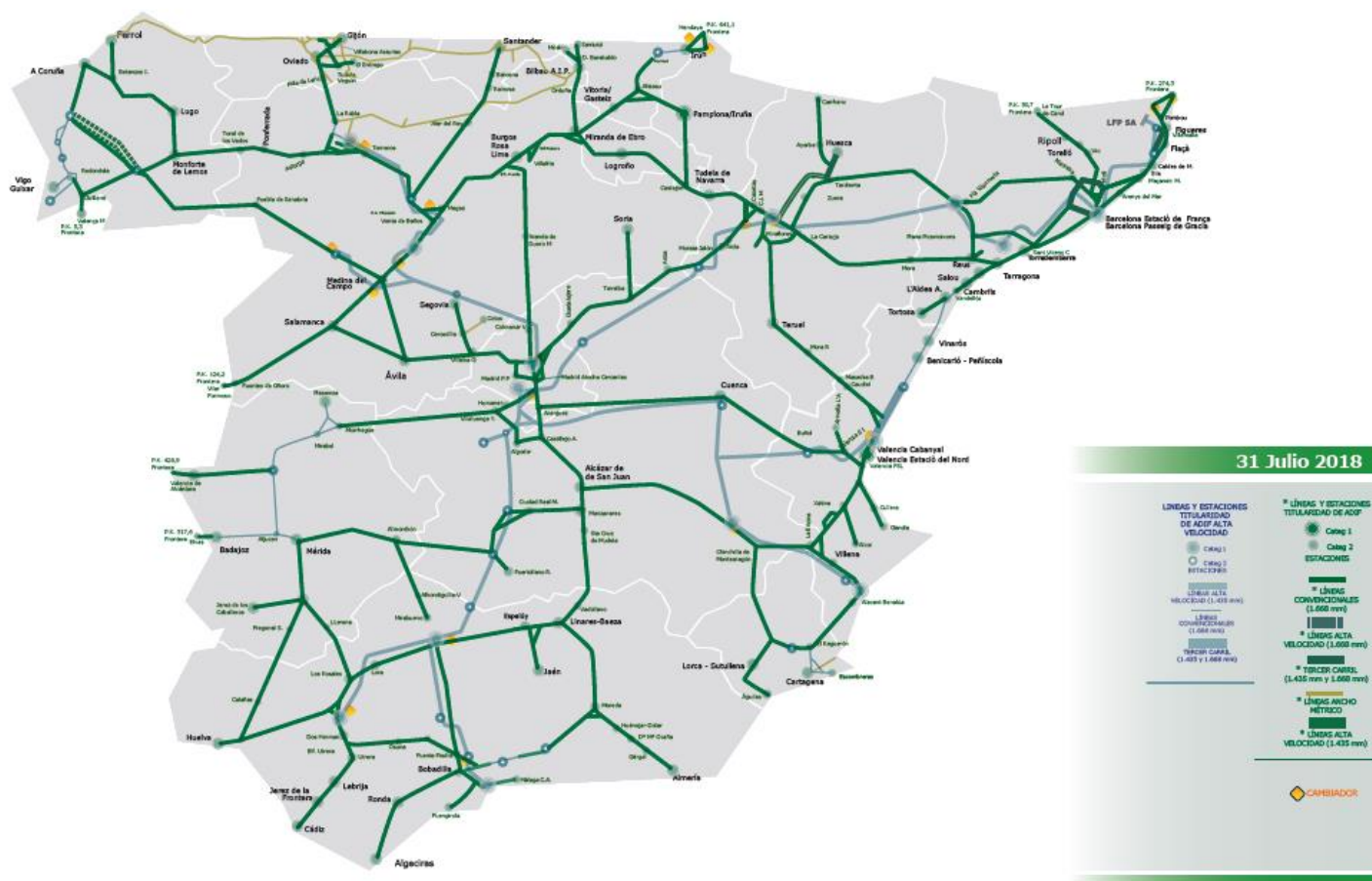


Figura I- 3: Mapa de la Red Ferroviaria de Interés General de Adif. (Fuente: www.adif.es)

2.2. SISTEMAS DE ELECTRIFICACIÓN DE ADIF

La electrificación del ferrocarril en España empezó a principios del siglo XX. El primer sistema de electrificación que se puso en funcionamiento fue con una tensión de 1.500 V en corriente continua. Esta decisión fue debida, a que los motores de corriente continua eran más fáciles de controlar que los motores de corriente alterna.

Más tarde, con el paso de los años, se decidió aumentar de 1.500 Vcc a 3.000 Vcc, debido al aumento de potencia de las locomotoras. Con la entrada de la década de 1980, la electrónica de potencia obtuvo un papel importante, permitiendo una mejora del control de los motores de corriente continua mediante el uso de dispositivos chopper.

Finalmente, en la década de 1990 se empezaron a utilizar motores asíncronos de corriente alterna. Este hecho provocó la construcción de las primeras líneas ferroviarias de alta velocidad de 25 kV a 50 Hz.

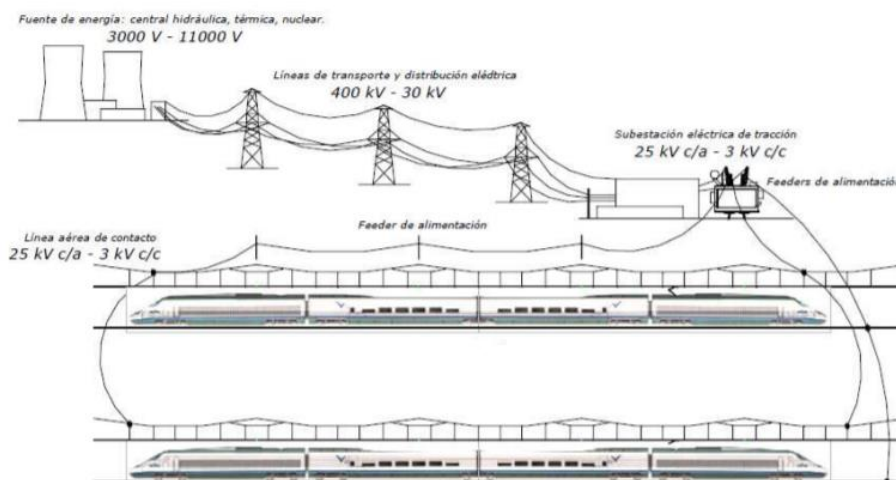


Figura I- 4: Sistema de electrificación de la red ferroviaria (Fuente: www.adif.es)

2.2.1. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN EN CORRIENTE CONTINUA

El sistema de electrificación en corriente continua es desarrollado con el fin de alimentar los motores de tracción de corriente continua utilizado por una parte del material rodante que circula por dichas líneas ferroviarias. Este factor, condicionará al sistema de electrificación.

El sistema estará formado por las líneas eléctricas de alimentación, las cuales pueden tener las siguientes tensiones: 20 kV, 25 kV, 30 kV, 45 kV, 66 kV. Estas líneas transportarán energía eléctrica hasta una subestación de tracción¹ rectificadora a, dónde se transformará la tensión de alimentación a la tensión deseada. Con ayuda de un grupo rectificador, se podrá convertir la tensión transformada de corriente alterna a corriente continua, con el objetivo de alimentar la línea aérea de contacto.

En la norma UNE EN 50163 se recogen las tensiones de alimentación de la catenaria utilizadas en corriente continua:

- Alta Tensión: 3.300 V
- Media Tensión: 1.500 V
- Baja Tensión: 750 V

¹ Subestación eléctrica que obtiene la energía eléctrica de la red de distribución y transforma los parámetros eléctricos de corriente, tensión y frecuencia para alimentar la línea aérea de contacto de un ferrocarril. Son nombradas subestaciones de tracción debido a qué en el ámbito ferroviario se utiliza dicho término.

Como la tensión de alimentación asignada a nuestra catenaria es de 3,3 kVcc; se realizará unas breves introducciones de las características más importantes de los diferentes sistemas de electrificación de corriente continua para 3,3 kVcc.

Respecto las subestaciones de tracción de 3,3 kV en corriente continua estarán separadas entre 8 y 20 km. Esta distancia dependerá de factores como el tráfico de material rodante que circule por el tramo y el perfil de la vía.

2.2.1.1. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN 1x3.300 Vcc

Se caracteriza por ser el sistema de electrificación ferroviaria más simple, debido a que solo se utiliza un conductor en la línea aérea de contacto a 3,3 kV en corriente continua. Este sistema es utilizado en las líneas convencionales de la red ferroviaria de ADIF.

Cada tramo estará alimentado por dos subestaciones de tracción rectificadoras de 3,3 kV en corriente continua, es decir que la alimentación de cada tramo de la línea será bilateral.

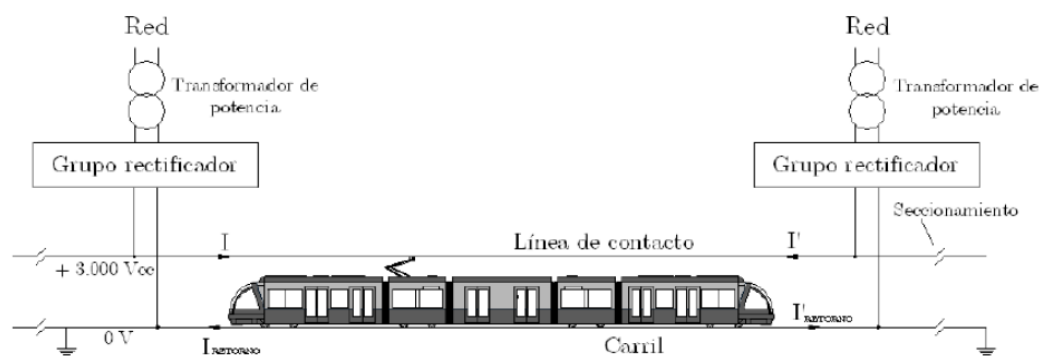


Figura I- 5: Sistema de electrificación 1x3.300 Vcc (Fuente: www.adif.es)

2.2.1.2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN 2 x 3.300 Vcc

La catenaria está formada por dos hilos de contacto, que a diferencia del sistema de electrificación 1x3.300 Vcc, que solo utiliza un solo conductor. Al añadir otro conductor más, la sección del hilo de contacto aumentará, provocando que haya un aumento de la corriente que circule por la catenaria.

2.2.2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN EN CORRIENTE ALTERNA

Para la electrificación de las líneas ferroviarias de alta velocidad, se utilizará una tensión de 25 kV en corriente alterna. El factor principal que provoca electrificar una red ferroviaria a 25 kV a 50 Hz es la gran potencia demandada por los trenes de alta velocidad.

En estos momentos, en España son utilizados tres tipos de sistemas de electrificación en corriente alterna:

- 1 x 25 kV
- 1 x 25 kV con conductor de retorno

- 2 x 25 kV

La diferencia principal entre el sistema de 1x25 kV y el sistema de 1x25 kV con el conductor de retorno, es dicho conductor, el cual se conectará en paralelo a la vía. Con ayuda de este conductor, se conseguirá que la corriente de retorno se reparta entre el carril y el conductor, con la finalidad de repartir las corrientes parásitas provocadas por el sistema.

En Europa, el sistema de electrificación más utilizado hoy en día para alta velocidad es el 2x25 kV a 50 Hz, ya que disminuyen los valores de las pérdidas de potencia y de las caídas de tensión. Además, de una reducción de las corrientes parásitas en el sistema.

2.3. DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN DE 3,3 kVcc

Instalación que tiene como objetivo abastecer de energía eléctrica a la línea aérea de contacto o catenaria. La subestación de tracción de 3,3 kV en corriente continua obtiene la energía a partir de dos líneas eléctricas de distribución, de la correspondiente compañía eléctrica. Dicha energía se transforma y rectifica de corriente alterna a corriente continua, a partir de un rectificador de potencia para ser utilizada en la catenaria por las diferentes máquinas ferroviarias.

Las subestaciones de tracción de 3,3 kV en corriente continua están divididas en dos partes:

- Parte de corriente alterna:

Está compuesta por los dispositivos y apartamentas que se encuentran entre las líneas eléctricas de entrada y el grupo rectificador.

- Parte de corriente continua:

Está formada por el grupo rectificador, encargado de rectificar la corriente alterna y todos los dispositivos eléctricos y electrónicos que serán utilizados hasta llegar a la línea aérea de contacto.

Una característica importante sobre las subestaciones de tracción en corriente continua es que alimentan en paralelo a la línea aérea de contacto.

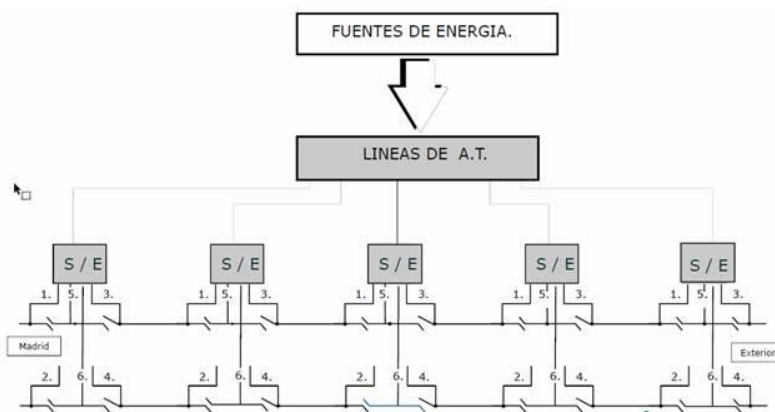


Figura I- 6: Circuito equivalente del sistema de conexión de la red ferroviaria (Fuente: Adif)

Un aspecto característico de las subestaciones de tracción de corriente continua es que son controladas a partir de un sistema de telemando. El objetivo del telemando de energía es supervisar y controlar el sistema eléctrico del sistema ferroviario en tiempo real. Este sistema está controlado mediante un operador que está informado a tiempo real de lo que sucede en el sistema eléctrico, pudiendo dar órdenes a diferentes dispositivos (disyuntores, interruptores, etc). Por ejemplo, abriendo o cerrando seccionadores.

Las subestaciones de tracción se pueden dividir en diferentes tipos, dependiendo su estructura:

- Intemperie:

La parte de corriente continua se encuentra en el edificio de continua, aislada del exterior. Por otro lado, la parte de corriente alterna de la instalación está en el exterior dando lugar a su nombre.

- Interior:

Toda la instalación, tanto la parte de alterna como la parte de continua estarán en un edificio aislado del exterior.

Las subestaciones de tracción de corriente continua, también se pueden clasificar dependiendo si la energía producida a partir del frenado de los trenes vuelve a ser utilizada por la misma catenaria o es reinyectada en la línea eléctrica de distribución que alimenta la subestación de tracción. Este tipo de subestación es nombrada como: Subestación de tracción reversible.

La primera subestación reversible de 3 kVcc para red convencional que ADIF puso en funcionamiento fue en el año 2009 en la subestación de La Comba (Málaga) en la línea de cercanías Málaga-Fuengirola.

Las subestaciones reversibles se diferencian de las demás, gracias a la instalación de un equipo recuperador que está compuesto por un convertidor DC/AC formado por IGBTs, convertidores, inductancias y elementos de protección. Este equipo estará conectado con la catenaria a 3 kVcc y en paralelo con uno de los grupos rectificadores y por el lado de corriente alterna estará conectado al secundario de los transformadores.

La instalación del equipo recuperador en las subestaciones de tracción ayudará a reducir el consumo eléctrico de tracción, reutilizar la energía producida a partir del frenado de los trenes, obtener un ahorro energético y una ayuda al medioambiente.

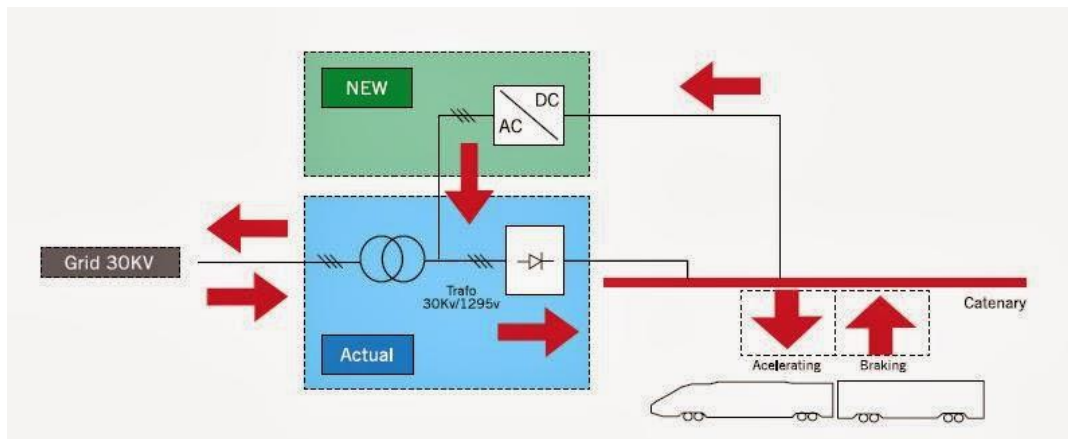


Figura I- 7: Esquema conceptual de las subestaciones ferroviarias de CC reversibles
(Fuente:www.ingeteam.com)

La configuración de las subestaciones de tracción dependerá del tipo de conexión a la línea aérea de contacto, ya que cada subestación de tracción alimentará uno o dos tramos de dicha línea aérea de contacto.

3. OBJETO DEL PROYECTO

3.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objeto el cálculo y diseño de los elementos de protección y el sistema de puesta a tierra de una subestación eléctrica de tracción (subestaciones eléctricas que están diseñadas para medios de transporte de ferrocarril) de 3,3 kV de corriente continua, la cual estará alimentada por dos líneas de 25 kV en corriente alterna.

3.2. UBICACIÓN

El objeto del proyecto se situará en la **Línea de ancho convencional Castejón – Logroño – Zaragoza**, definido entre los siguientes puntos kilométricos de la línea:

- Inicio del tramo de la línea:

P.K 91 + 223. Punto kilométrico donde está localizada la subestación de tracción de 3,3 kV en corriente continua de Castejón.

- Final del tramo de la línea:

P.K 76. Punto kilométrico donde está la localización de la estación de ADIF de Logroño

La subestación eléctrica de tracción de 3,3 kVcc que se dimensionará en el proyecto estará ubicada en el siguiente punto kilométrico de la línea ferroviaria elegida.

- Punto kilométrico: P.K 10.

La ubicación de la nueva subestación en dicho punto kilométrico es debido a la gran cantidad de paso de trenes por dicha línea. Por lo tanto, habrá un

incremento de la demanda de energía eléctrica proveniente de este incremento de circulación de trenes, y por esta razón se necesitará la instalación de una nueva subestación.

- Coordenadas UTM:
 - X: 42.208823
 - Y: -1.801198

4. DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN 25/3,3 kV EN CORRIENTE CONTINUA

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

En el presente apartado, se describirán las características eléctricas generales asociadas a los elementos de potencia de la instalación, obtenidas a partir de los cálculos realizados en la parte *II. CÁLCULOS* del presente proyecto.

A continuación, se describirán las características eléctricas generales de las instalaciones de potencia:

- Corriente alterna:
 - Tensión nominal de servicio: 25 kV.
 - Regulación de tensión de los transformadores de potencia: $\pm 3,5 \%$; $\pm 7 \%$.
 - Frecuencia: 50 Hz.
 - Potencia de cortocircuito de la línea de 25 kV: 500 MVA.
 - Intensidad de cortocircuito trifásica de la línea de 25 kV: 11,44 kA.
 - Intensidad de cortocircuito monofásica: 15,81 kA
 - Tiempo máximo de desconexión, en caso de cortocircuito: 1 s.
- Corriente continua:
 - Tensión nominal de servicio bajo carga: 3.300 V.
 - Potencia nominal: 2 x 6.000 kW.
 - Intensidad nominal: 2 x 909,09 A.
 - Temperatura de trabajo: 40 °C.

- Cargas admisibles
 - En régimen permanente: 100 %
 - En régimen de sobrecarga durante 2 horas: 150 %
 - En régimen de sobrecarga durante 5 minutos: 300 %
- Servicios auxiliares:
 - Tensión nominal de servicio: 400 V.
 - Potencia aparente nominal: 160 kVA.
 - Frecuencia: 50 Hz.

4.1.1. EMBARRADO DE LA SUBESTACIÓN

El embarrado general de 25 kV se dividirá en dos partes:

- Embarrado superior.
- Embarrado inferior.

Para el embarrado superior del parque de intemperie se utilizará un conductor de 120 mm^2 de cobre, con las siguientes características:

- Diámetro: 12,36 mm
- Sección: 120 mm^2 .
- Tipo de aislamiento: Desnudo.
- Instalación: Aérea.

Para el embarrado inferior del parque de intemperie se utilizará un tubo 20/16 de cobre semiduro con las siguientes características:

- Diámetro exterior: 20 mm.
- Diámetro interior: 16 mm.
- Sección: 113 mm^2 .
- Material: E-Cu F30.

Según la *MIE-RAT 15*, todos los elementos que estén en tensión deberán estar a una altura mínima de 3,13 m.

4.1.2. ELEMENTOS ASOCIADOS A LAS LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN ASOCIADOS A LAS LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN DE LA SUBESTACIÓN

En la ubicación de entrada-salida de las líneas de alimentación de la subestación, se han dimensionado los siguientes elementos eléctricos, los cuales se definirán en orden tal y como se indica en el *plano 01.03*.

- Seccionador tripolar giratorio de apertura lateral con accionamiento eléctrico, de servicio exterior, con una tensión de aislamiento de 36 kV, intensidad nominal de 630 A, intensidad nominal de corta duración y de cresta de 50/20 kA respectivamente, tensiones de ensayo a frecuencia industrial e impulso tipo rayo de 50/125 kV respectivamente.
- Interruptor automático tripolar de aislamiento SF_6 , para intemperie. Dicho interruptor estará provisto de un accionamiento de motor resorte, con bobinas de disparo.
 - Tensión de aislamiento: 72,5 kV
 - Tensión soportada a frecuencia industrial: 140 kV
 - Tensión soportada frente a un impulso tipo rayo: 325 kV
 - Intensidad nominal: 2500 A
 - Intensidad de cortocircuito trifásica: 31,5 kA.
- Se instalará un transformador de intensidad monofásico con doble devanado secundario, con las siguientes características eléctricas:
 - Relación de transformación: 400/5 A - 400/5 A
 - Potencia de precisión de los arrollamientos secundarios: 10 - 30 VA
 - Clase de precisión: 0,5 - 5P30
- Seccionador tripolar giratorio de apertura lateral con accionamiento eléctrico, de servicio exterior, con una tensión de aislamiento de 36 kV, intensidad nominal de 630 A, intensidad nominal de corta duración y de cresta de 50/20 kA respectivamente, tensiones de ensayo a frecuencia industrial e impulso tipo rayo de 50/125 kV respectivamente.
- Autoválvulas al inicio de las dos líneas, con el objetivo de proteger ambas líneas de alimentación frente a sobretensiones, como se indica en el *plano 01.04* con las siguientes características eléctricas:
 - Tensión máxima de red (U_m): 36 kVrms.

- Tensión residual (U_r): 30 kVrms.
- Tensión de trabajo continuo máxima (U_c) = 24 kVrms.
- Tensión residual máxima con onda de corriente (80/20 μ s) con una corriente de descarga de 10 kVpico: 77,7 kVpico.
- Tensión residual máxima con onda de corriente (30/60 μ s) con una corriente de descarga de 2 kVpico: 67,2 kVpico.

4.1.3. ELEMENTOS ASOCIADOS AL EMBARRADO SUPERIOR

- Seccionador tripolar giratorio de apertura lateral con accionamiento eléctrico, de servicio exterior, con una tensión de aislamiento de 36 kV, intensidad nominal de 630 A, intensidad nominal de corta duración y de cresta de 50/20 kA respectivamente, tensiones de ensayo a frecuencia industrial e impulso tipo rayo de 50/125 kV respectivamente.
- Se instalará un transformador de tensión con doble devanado secundario, con las siguientes características eléctricas:
 - Relación de transformación: $25.000:\sqrt{3} / 110:\sqrt{3} - 110:\sqrt{3}$
 - Potencia de precisión de los arrollamientos secundarios: 10 - 30 VA
 - Clase de precisión: 0,5 – 0,5

4.1.4. ELEMENTOS ASOCIADOS AL GRUPO DE TRACCIÓN

Se instalarán dos grupos de tracción formados cada uno por un transformador de potencia de 6,6 MVA y un rectificador de potencia de 6.000 kW.

Además, dispondrá de los siguientes elementos eléctricos, los cuales se habrán calculado y dimensionado en *II. CÁLCULOS* del presente proyecto:

- Seccionador tripolar giratorio de apertura lateral con accionamiento eléctrico, de servicio exterior, con una tensión de aislamiento de 36 kV, intensidad nominal de 630 A, intensidad nominal de corta duración y de cresta de 50/20 kA respectivamente, tensiones de ensayo a frecuencia industrial e impulso tipo rayo de 50/125 kV respectivamente.
- Interruptor automático tripolar de aislamiento SF_6 , para intemperie. Dicho interruptor estará provisto de un accionamiento de motor resorte, con bobinas de disparo.
 - Tensión de aislamiento: 72,5 kV

- Tensión soportada a frecuencia industrial: 140 kV
- Tensión soportada frente a un impulso tipo rayo: 325 kV
- Intensidad nominal: 2500 A
- Intensidad de cortocircuito trifásica: 31,5 kA.
- Se instalará un transformador de intensidad monofásico con doble devanado secundario, con las siguientes características eléctricas:
 - Relación de transformación: 400/5 A – 800/5 A
 - Potencia de precisión de los arrollamientos secundarios: 10 - 30 VA
 - Clase de precisión: 0,5 - 5P30

Los transformadores de medida, tendrán las siguientes funciones en las subestaciones de tracción de corriente continua:

- Informar al sistema de Calidad de la Energía.
- Medida comprobante por parte de ADIF.

4.1.4.1. Transformador de potencia

ADIF utiliza dos modelos de transformadores de potencia en sus subestaciones de tracción de 3 kV en CC, los cuales son:

- Transformadores de potencia sumergidos en aceite.
- Transformadores de potencia en seco.

A la hora de la selección del modelo del transformador de potencia, un factor importante es el ambiente donde trabajará: interior o exterior. Los transformadores sumergidos en aceite son utilizados tanto en interior como en exterior, en cambio, los transformadores en seco trabajan en interior. Otro factor importante es el precio, ya que el coste de los transformadores de aceite es superior que el de los transformadores en seco.

Por lo tanto, a la hora de seleccionar el modelo de transformador de potencia se opta por el modelo de transformador de potencia sumergido en aceite debido a que la parte de alterna de la subestación de tracción está a la intemperie.

A continuación, se describirán las características eléctricas generales de los transformadores de potencia:

- Potencia nominal: 6,6 MVA.
- Potencia secundaria y terciaria: 2 x 3.300 kVA.

- Tensión primaria: 25 ($\pm 3,5$ %; (± 7 %) kV.
- Grupo de conexión: Yy0d11.
- Tensión de cortocircuito entre primario y ambos secundarios (U_{cc} %): 10 %.
- Refrigeración: ONAN²

Los transformadores de potencia de los grupos de tracción deberán cumplir la *ET 03.359.101.7 (4ª Edición noviembre de 2014) "Transformadores de potencia sumergidos en aceite para Subestaciones de Tracción de 3,3 kV en corriente continua"*.

4.1.4.2. Rectificador de potencia

La subestación de tracción de 3,3 kV en corriente continua estará equipada con 2 rectificadores de potencia de características técnicas generales detalladas en el apartado 1.7 de *II. CÁLCULOS*.

El rectificador estará compuesto por diodos de silicio, a través de 2 puentes GRAETZ trifásicos en serie. La potencia de cada grupo será de 6.000 kW, con una intensidad nominal de 910 A y una tensión de 3.300 V.

Estará de acuerdo con la *ET 03.359.104.1 (3ª Edición junio 2017) "Rectificadores de potencia para Subestaciones de Tracción de 3,3 kV en corriente continua"*. Los fabricantes dispondrán de la Autorización de Suministro y Uso (ASU) de ADIF.

4.1.4.3. Filtro de armónicos

A la salida de los rectificadores de potencia se instalarán un filtro de armónico, los cuales estarán compuestos por una bobina de autoinducción con núcleo de aire y un conjunto de circuitos sintonizados para el filtrado de armónicos correspondientes a las frecuencias de 600-1.200 Hz, con la bobina conectada en el positivo. Las normas de construcción, proyecto y ensayo serán las CEI 233.

Las bobinas de los circuitos sintonizados, serán de núcleo de aire, y una resistencia de valor adecuado, configurarán la característica de amortiguamiento, para tener en cuenta las variaciones admisibles, que tienen lugar en la frecuencia de la tensión de alimentación en alterna de la subestación. Las normas de construcción, proyecto y ensayo serán las CEI 76, 2ª edición.

La tensión perturbadora será inferior al 0,5 % de la tensión en vacío del grupo rectificador.

En el apartado 1.7.3 de *II. CÁLCULOS*, se realizarán los cálculos requeridos para el correcto dimensionamiento de los filtros de armónicos

² Oil Natural and Air Natural

4.1.4.4. Bobina de alisamiento

La bobina de alisamiento deberá cumplir la *ET 03.359.115.7 (2ª Edición noviembre 2014)* “Bobinas de Alisamiento para Subestaciones de Tracción de Corriente Continua”.

En el apartado 1.7.2 de *II. CÁLCULOS*, se realizarán los cálculos requeridos para el correcto dimensionamiento de los filtros de armónicos

4.1.5. ELEMENTOS ASOCIADOS A LOS SERVICIOS AUXILIARES

- Seccionador tripolar giratorio de apertura lateral con accionamiento eléctrico, de servicio exterior, con una tensión de aislamiento de 36 kV, intensidad nominal de 630 A, intensidad nominal de corta duración y de cresta de 50/20 kA respectivamente, tensiones de ensayo a frecuencia industrial e impulso tipo rayo de 50/125 kV respectivamente.
- 3 fusibles de servicio exterior. Tensión nominal 25 kV y calibre del fusible 16 A

4.1.5.1 Transformador de servicios auxiliares

Los transformadores de potencia de los servicios auxiliares deberán cumplir la *ET 03.359.101.7 (2ª Edición diciembre de 2014)* “Transformadores de alimentación a servicios auxiliares para subestaciones de tracción de 3,3 kV de corriente continua)

ADIF utiliza dos tipos de transformadores de potencia en sus subestaciones de tracción de 3 kV en CC para alimentar los servicios auxiliares, el cual es:

- Tipo sumergido en baño de aceite, con refrigeración ONAN³.
- Tipo seco encapsulado, con refrigeración AN⁴ y aislamiento de resina.

Debido a que la parte de alterna de la subestación de tracción está a la intemperie, se seleccionará el modelo de transformador de potencia sumergido en aceite para alimentar los servicios auxiliares.

A continuación, se describirán las características eléctricas generales de los transformadores de potencia de los servicios auxiliares:

- Potencia nominal: 160 kVA.
- Tensión primaria: 25 ($\pm 3,5$ %; ± 7 %) kV.
- Tensión secundaria: 230 V
- Grupo de conexión: Yzn11.
- Tensión de cortocircuito mínima (Ucc %): 4%.

³ Refrigeración de aceite natural y de aire natural (Natural Oil cooling and Natural air cooling)

⁴ Refrigeración de aire natural (Natural Air cooling)

- Frecuencia: 50 Hz.

4.1.6. CELDAS DE CORRIENTE CONTINUA DE 3,6 kV

Se pueden distinguir tres tipos de celdas de corriente continua:

- Celda de seccionador de grupo 1 y seccionador de subestación móvil:

Se instalará un seccionador unipolar de apertura vertical 2.600 A y 3,6 kV con un accionamiento eléctrico. Dicho seccionador lleva mando eléctrico para su actuación mediante telemando y su disposición quedará señalizada en el cuadro de mando y en el cuadro central de telemando.

También se requerirá otro seccionador unipolar de apertura vertical con mando manual no motorizado con enclavamiento eléctrico para la conexión de la subestación móvil.

- Celda de seccionador de grupo 2 y seccionador de acoplamiento de barras ómnibus:

Se instalará un seccionador unipolar de apertura vertical 2.600 A y 3,6 kV con un accionamiento eléctrico. Dicho seccionador lleva mando eléctrico para su actuación mediante telemando y su disposición quedará señalizada en el cuadro de mando y en el cuadro central de telemando.

También se instalará un seccionador unipolar de apertura vertical con las mismas características técnicas, pero en este caso se aplicará para el acoplamiento con la barra ómnibus. Dicho seccionador permanecerá abierto hasta en caso de avería de algún disyuntor extrarrápido de las diferentes celdas de continua. En dicho momento, el presente seccionador deberá cerrarse en vacío. Para dicha maniobra, se requerirá que los disyuntores extrarrápidos de las celdas de salida de los feeders estén desconectados. A continuación, se deberá abrir el seccionador de acoplamiento de la barra ómnibus y conectarse los disyuntores extrarrápidos de las respectivas celdas de salida de feeder.

- Celdas de salida de feeder:

En el presente proyecto se instalarán un total de 6 salidas de feeders, es decir una salida de feeder por cada celda de continua de salida de feeders. Las presentes celdas se caracterizarán por tener instalada en la parte posterior una de las dos barras barras ómnibus. En cada una de las barras ómnibus se conectarán tres feeders para alimentar un carril de la línea ferroviaria, es decir se conectarían los feeders F1, F2 y F5 indicados en el *plano 01.03* ya que en el presente proyecto la subestación de tracción estará diseñada para alimentar una sola vía, pero en caso de ampliar la línea ferroviaria de una vía a dos vías, se ha considerado instalar los feeders F3, F4 y F6.

Las celdas de salida de feeder estarán compuestas por los siguientes elementos:

- Seccionador unipolar de apertura vertical 2.600 A y 3,6 kV con un accionamiento eléctrico. Dicho seccionador lleva mando eléctrico para su actuación mediante telemando y su disposición quedará señalizada en el cuadro de mando y en el cuadro central de telemando.
- Un disyuntor extrarrápido A.T., C.C., 3,6 kVcc, 2.600 A. Homologado por ADIF según E.T. 03.359.100.9.
- Analizador de línea aérea de contacto para S/E de tracción en corriente continua, homologado por ADIF según E.T. 03.359.108.2, constituido por 2 partes fundamentales, placa de ensayo y autómatas programables. Los fabricantes dispondrán de la Autorización de Suministro y Uso (ASU) de ADIF.
- Autómata programable 24 Vcc para control de un feeder constituida por: Unidad procesadora, chasis, tarjetas de entrada y salidas digitales, tarjetas de entradas analógicas, chasis y resto de accesorios necesarios para el cumplimiento de la Especificación Técnica de ADIF.

4.1.7. ELEMENTOS UBICADOS EN LA SALIDA DE FEEDERS – PÓRTICO DE FEEDERS

En la salida de las celdas de salida de feeders saldrá el feeder positivo, mediante un cable unipolar tipo RHZ1 6/10 kV con una sección de 300 mm^2 , el cual se ha calculado en el *apartado 1.12 del Capítulo II* del presente proyecto. Cada feeder se conectará a una autoválvula a la salida del edificio de continua.

4.1.7.1 Autoválvula

Las autoválvulas instaladas a la salida del edificio de continua de la subestación de tracción de 3,3 kVcc del presente proyecto, tendrán las siguientes características técnicas:

- Tensión de servicio (U_m): 3.300 Vcc.
- Tensión residual (U_r): 10,6 kV
- Tensión de trabajo continuo máxima (U_c) = 4.000 Vcc
- Tensión residual con onda de corriente (8/20 μ s): 50 kVpico.
- Tensión residual (U_p) para I_n : 10,6 kV.

En el *apartado 1.11 del Capítulo II. CÁLCULOS*, se indica los cálculos aplicados para el correcto dimensionamiento de las autoválvulas instaladas a la salida del edificio de continua.

Mediante un cable desnudo con una sección de 300 mm^2 , se conectarán la salida del edificio de continua con el pórtico de feeders, el cual tendrá 3 salidas de feeders equipadas y 5 de reserva, las salidas equipadas dispondrán de los siguientes equipos:

4.1.7.2. Pórtico de Feeders

- 2 seccionadores unipolares, accionamiento eléctrico, de servicio exterior para salida de feeder y de by-pass, 3.150 A, tensión de aislamiento 17,5 kV.
- 2 detectores de tensión A.T. C.C, colocados en las barras by-pass.
- Armario para relés detectores de tensión.
- Barras de by-pass constituida cada una por una pletina de cobre de 100 x 10 mm².

Los seccionadores de by-pass, también estarán enclavados con sus respectivos disyuntors extrarrápidos. Por lo tanto, solo podrán actuar dichos seccionadores de by-pass cuando no haya tensión, con el objetivo de detectar dicha tensión se instalará detectores de tensión que estarán ubicados en el armario para relé de detectores de tensión.

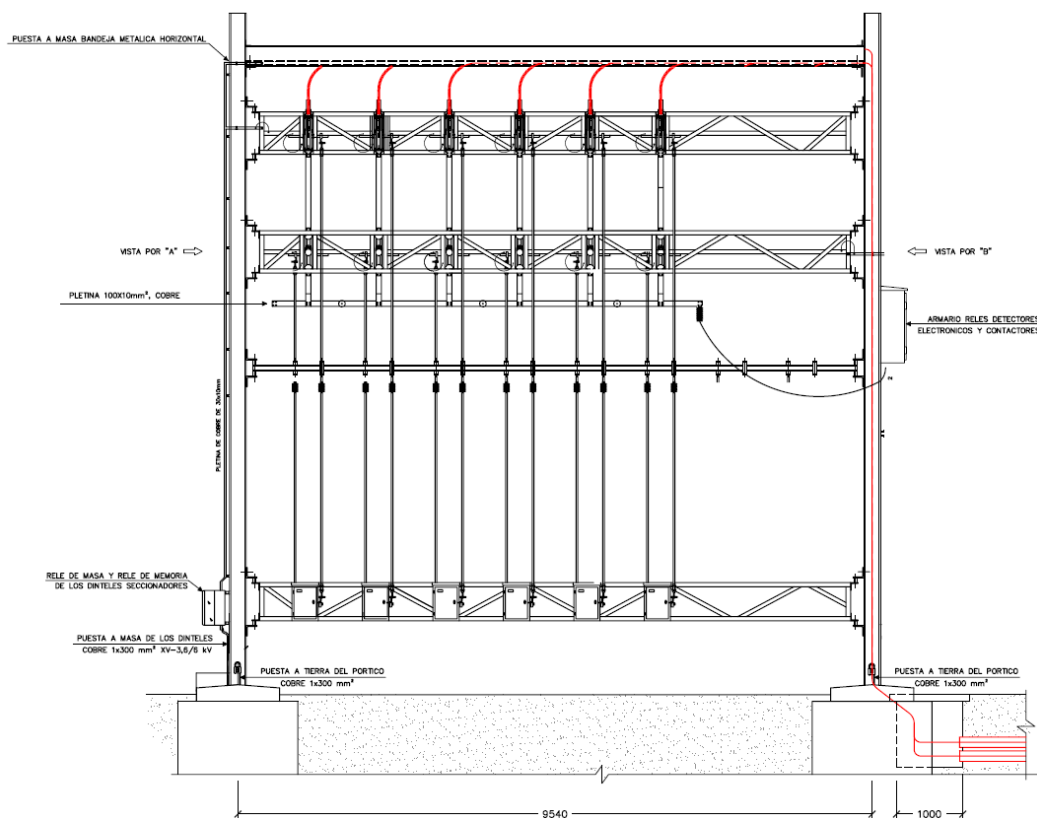


Figura I- 8: Pórtico de Feeders (Fuente:ADIF)

4.1.8. ARMARIO DE NEGATIVOS

En el exterior del edificio de continua, se instalará un armario con un grado de protección IP65, según la UNE-EN 60529, la primera cifra hará referencia a la protección contra contactos, en este caso se tiene el número 6, el cual indica que dicho armario debe estar

protegido frente al polvo a una presión de negativa de 20 mbar. La segunda cifra hará referencia a la protección contra agua, en este caso el número 5 indica que el armario deberá estar protegido frente a agua proyectada, es decir el armario deberá estar protegido frente a cualquier dirección de un chorro de agua.

En el interior del armario de negativos, se instalarán 2 pletinas de cobre de 100 x 10 mm en las que se conectarán los conductores negativos de ambos rectificadores de potencia. También, se conectarán los cables conectados en los carriles de las vías, formando así el circuito de retorno. Los carriles de las vías se conectarán al armario de negativos debido a que los trenes que circulen por la vía inyectarán corrientes parasitarias provenientes de los motores eléctricos que componen los trenes.

Además, se dispondrá de 2 pletinas de cobre con el objetivo de conectar las redes de tierra y de masas a dichas pletinas, cuyas dimensiones serán de 100x10 mm.

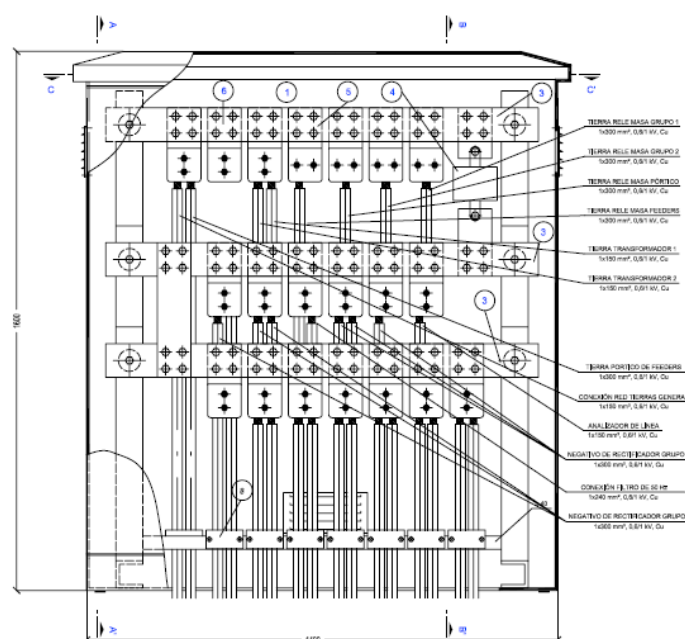


Figura I- 9: Armario de negativos (Fuente: ADIF)

4.1.9. CIRCUITO DE RETORNO

Según la UNE-EN 50122-2, el circuito de retorno estará formado por los carriles de la vía ferroviaria y los conductores (feeders negativos) de conexión entre dichos carriles y el armario de negativos, que se encargarán de transportar las corrientes parásitas o vagabundas provenientes de los motores eléctricos que componen los trenes, las cuales pueden provocar problemas a las señalizaciones que se instalen en la respectiva línea ferroviaria. Dichas corrientes atraviesan los bogies⁵ hasta el armario de negativos formando así un circuito cerrado.

⁵ dispositivo giratorio dotado de dos o más ejes, cada uno con dos ruedas, sobre los que se apoya un vehículo ferroviario

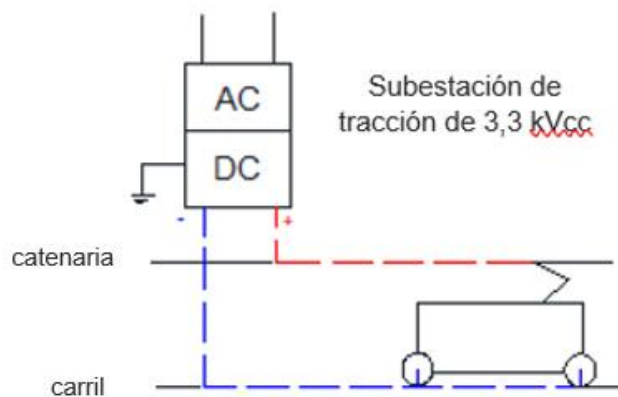


Figura I- 10: Esquema del sistema eléctrico del circuito de retorno
(Fuente: Propia)

4.1.10. SUBESTACIÓN MÓVIL

En caso de un aumento de la circulación de trenes por la línea ferroviaria asociada a la subestación proyectada en el presente proyecto o mantenimiento de alguno de los grupos de tracción de la nueva subestación, se considerará la instalación de una subestación móvil.

Por lo tanto, se requerirá que en el parque de intemperie de la subestación se añada un pórtico para dicha subestación móvil, tal y como se observa en el *plano 01.02*. A partir del embarrado superior, se realizará una conexión con dicho pórtico, mediante un seccionador tripolar giratorio de apertura lateral con accionamiento eléctrico, de servicio exterior, con una tensión de aislamiento de 36 kV, intensidad nominal de 630 A, ya que las condiciones de servicio serán equivalentes a las aplicadas para los seccionadores asociados en el parque de intemperie. Además, se deberá instalar un tramo de vía adjunto a la subestación diseñada en el proyecto, ya que la subestación móvil será transportada por vía ferroviaria. En el *plano 01.04* y el *plano 01.06* se observa como estará ubicada e instalada la subestación móvil, en caso de ser requerida.

4.1.11. PUESTA A TIERRA

Para la configuración del presente sistema de puesta a tierra de la subestación de tracción, se ha considerado los elementos normalmente empleados en este tipo de instalaciones eléctricas, por Adif. El sistema de puesta a tierra de la subestación de tracción del presente proyecto estará formado por la siguiente configuración:

- Una malla de una superficie de 55 x 35 m, a una profundidad de 1 metro, formada por cinco (8) conductores longitudinales (carril de 45 kg/m) de 55 m separados y nueve (8) conductores transversales (carril de 45 kg/m) de 35 m separados según documentación gráfica, con 10 picas de acero recubiertas de cobre de 300 micras de longitud 2,5 m \varnothing 25 mm.
- Una red de tierras de servicio que estarán conectadas a unas pletinas de cobre instaladas en el armario de negativos de la subestación, el cual se conectará a la malla de protección del sistema de puesta a tierra. En la red de tierras de

servicio estarán conectados las masas de los transformadores de potencia, y el pórtico de feeders debido a que estará próximo al armario de negativos.

- Una red de masas que tendrá como objetivo detectar derivaciones del conductor positivo de la salida del rectificador en el interior del edificio de continua, de las cuales las partes metálicas de los elementos de continua deberán ser aislados. La red de masas estará dividida en tres partes:

- Red de masas de grupo:

Cada grupo de tracción-rectificador instalado en la subestación de tracción del presente proyecto dispondrá de una red de masa de grupo, cuyo relé de masa estará ubicado en la celda del rectificador, el cual deberá estar lo más separado de la bobina de alisamiento. Se deberán conectar a dicho relé de masas el bastidor del rectificador, el bastidor del filtro de armónicos y el soporte del transformador de intensidad de medida en corriente continua del respectivo grupo rectificador.

- Red de masas de feeders:

Se instalará una red de masas para todas las celdas de corriente continua, cuyo relé de masas estará ubicado en el interior de una de las celdas de corriente continua.

- Red de masas del pórtico de feeders:

Se instalará una red de masa en el pórtico de feeders con el objetivo de aislar eléctricamente los elementos de dicho pórtico, como los seccionadores de feeder, seccionadores de by-pass y las respectivas estructuras metálicas.

4.1.12. INSTALACIONES ASOCIADAS A LOS SERVICIOS AUXILIARES

Mediante un transformador de potencia de 160 kV, instalado en el parque de intemperie, se alimentarán eléctricamente los elementos asociados a los servicios auxiliares de la presente subestación de tracción de 3,3 kVcc.

A partir de dicho transformador de SS.AA, se alimentará al Cuadro de Distribución y Protección en BT de SS.AA, situado junto al transformador de SSAA. Desde dicho cuadro en BT de SS.AA saldrá una línea para alimentar el Armario de Mando y Control de SS.AA, el cual estará situado en el edificio de continua, cuya función será alimentar todos los servicios auxiliares de la subestación.

4.1.12.1. Alumbrado interior

El tipo de alumbrado dependerá de las zonas a tratar, principalmente las luminarias que se instalarán serán las siguientes:

- Se aplicará para la sala de los armarios de mando y control, luminarias empotradas fluorescentes de 4x18W.
- En los aseos se dispondrá de LEDs de 15 W.
- En el resto de zonas se dispondrá de luminarias fluorescentes empotradas de 2 x 58W

4.1.12.2. Alumbrado exterior

Para conseguir una iluminación en el parque de intemperie de 25 kV se han utilizado proyectores para exteriores IP-65 con reflector de aluminio, para lámpara HIT de vapor de sodio de alta presión de 250 W.

La red de tierra de los soportes se realizará por conexión a una red de tierra común para todas las líneas que partan del mismo cuadro de protección, medida y control, conectándola a la red de tierras general. El alumbrado perimetral del edificio de control se realizará mediante brazos murales con lámparas de vapor de sodio de alta presión de 150 W.

Todas las luminarias contarán con una rejilla de protección antivandálica de al menos IK09.

El alumbrado exterior se activará por célula fotoeléctrica y reloj horario astronómico con la posibilidad de actuar manualmente.

4.1.12.3. Alumbrado de emergencia y seguridad

Se dotará la planta del edificio de un alumbrado de emergencia y señalización formada por aparatos autónomos, con batería incorporada y autonomía mínima de una hora. Se tendrá en cuenta lo especificado en el apartado 3 de la ITC-BT-28 del REBT.

Según la ITC-BT-28 del REBT, dentro del alumbrado de seguridad se diferencian el alumbrado de evacuación y el alumbrado de ambiente o anti-pánico.

El alumbrado de evacuación proporcionará en las vías de evacuación, y siempre a nivel del suelo y en el eje de los pasos principales, una iluminancia horizontal mínima de 1 lux. Este alumbrado es el encargado de facilitar y garantizar el reconocimiento y la utilización de los medios o rutas de evacuación.

El alumbrado de ambiente o antipánico es la parte del alumbrado de seguridad previsto para evitar todo riesgo de pánico y proporcionar una iluminación ambiente adecuada que permita a los ocupantes identificar y acceder a las rutas de evacuación e identificar obstáculos.